

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-252923

(43)Date of publication of application : 14.09.2000

(51)Int.Cl. H04B 10/17
 H04B 10/16
 H01S 3/10
 H04J 14/00
 H04J 14/02
 H04B 10/14
 H04B 10/06
 H04B 10/04

(21)Application number : 11-054374

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 02.03.1999

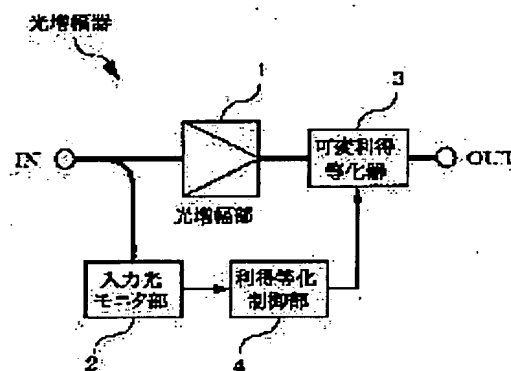
(72)Inventor : ONAKA YOSHINORI
 KINOSHITA SUSUMU

(54) OPTICAL AMPLIFIER FOR WAVELENGTH MULTIPLEXING AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical amplifier for WDN(wavelength division multiplexing) and an optical communication system which secures the wavelength flatness of gain even for input light in a wide level range and can obtain a noise characteristic of less wavelength dependence.

SOLUTION: The fundamental constitution of the optical amplifier for WDN is provided with an optical amplification part 1 connected between an input port IN and an output port OUT; an input light monitor part 2 which measures the power of input light inputted to the input port IN, a variable gain equalizer 3 which is connected to the optical amplification part 1 and has a variable loss wavelength characteristic, and a gain equalization control part 4 which controls the loss wavelength characteristic of the variable gain equalizer 3 in accordance with the input light power measured by the input light monitor part 2. Thus, the variable gain equalizer 3 has the loss wavelength characteristic corresponding to the change of the gain wavelength characteristic of the optical amplification part 1, and the gain deviation of output light is compensated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-252923

(P2000-252923A)

(43) 公開日 平成12年9月14日 (2000.9.14)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テ-マ-ト* (参考) |
|---------------------------|------|--------------|-------------|
| H 0 4 B 10/17 | | H 0 4 B 9/00 | J 5 F 0 7 2 |
| 10/16 | | H 0 1 S 3/10 | Z 5 K 0 0 2 |
| H 0 1 S 3/10 | | H 0 4 B 9/00 | E |
| H 0 4 J 14/00 | | | S |
| 14/02 | | | |

審査請求 未請求 請求項の数14 OL (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平11-54374

(22) 出願日 平成11年3月2日 (1999.3.2)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 尾中 美紀

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 木下 進

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100078330

弁理士 笹島 富二雄

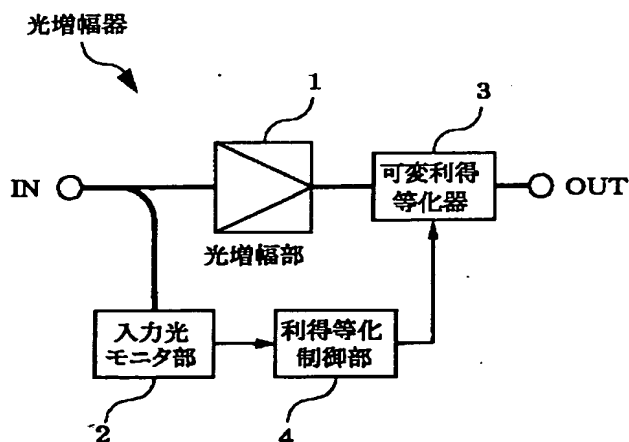
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長多重用光増幅器及び光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 広いレベル範囲の入力光に対しても利得の波長平坦性を確保でき、波長依存性の小さい雑音特性を得ることができるWDM用光増幅器及び光通信システムを提供する。

【解決手段】 本発明によるWDM用光増幅器の基本構成は、入力ポートIN及び出力ポートOUTの間に接続された光増幅部1と、入力ポートINに入力される入力光のパワーを測定する入力光モニタ部2と、光増幅部1に接続され可変の損失波長特性を有する可変利得等化器3と、入力光モニタ部2で測定された入力光パワーに応じて、可変利得等化器3の損失波長特性を制御する利得等化制御部4と、を有する。これにより、光増幅部1の利得波長特性の変化に対応した損失波長特性を可変利得等化器3が持つようになって、出力光の利得偏差が補償されるようになる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】波長多重信号光を一括して増幅する光増幅手段を備えた波長多重用光増幅器において、入力光パワーを測定する入力光測定手段と、前記光増幅手段に接続され、該光増幅手段の利得の波長依存性を抑圧する損失波長特性を有し、かつ、該損失波長特性を変化させることが可能な利得等化手段と、前記入力光測定手段で測定された入力光パワーに応じて、前記利得等化手段の損失波長特性を制御する利得等化制御手段と、を備えて構成されたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 2】請求項 1 に記載の波長多重用光増幅器であって、前記利得等化手段が、複数段構成の前記光増幅手段に対して各段ごとに設けられ、前記利得等化制御手段が、前記各利得等化手段の損失波長特性をそれぞれ制御する構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 3】請求項 2 に記載の波長多重用光増幅器であって、前記光増幅手段の利得を一定に制御する利得一定制御手段を備え、前記利得等化制御手段が、前記入力光測定手段で測定された入力光パワーを基に、最前段の光増幅手段における光増幅動作が飽和したか否かを判断して、前記各利得等化手段の損失波長特性をそれぞれ制御する構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 4】請求項 3 に記載の波長多重用光増幅器であって、前記波長多重信号光が、1.55 μm 帯の波長帯域を有し、前記光増幅手段が、エルビウムドープ光ファイバ増幅器を含んで構成され、前記利得等化制御手段が、前記最前段の光増幅手段における光増幅動作の飽和を判断したとき、前記最前段の光増幅手段に対して設けられた前記利得等化手段について、1.55 μm 帯における短波長側の損失量が飽和していないときの損失量よりも少なくなるように損失波長特性を制御する構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 5】請求項 2～4 のいずれか 1 つに記載の波長多重用光増幅器であって、前記複数の利得等化手段のうちで最前段の光増幅手段に対して設けられる利得等化手段が、前記最前段の光増幅手段の出力側に接続され、前記複数の利得等化手段のうちで最後段の光増幅手段に対して設けられる利得等化手段が、前記最後段の光増幅手段の入力側に接続される構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 6】請求項 1～5 のいずれか 1 つに記載の波長

多重用光増幅器であって、

1 波長あたりの出力光パワーを一定のレベルに制御する出力レベル制御手段を備えたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 7】請求項 5 に記載の波長多重用光増幅器であって、

前記出力レベル制御手段が、最前段の光増幅手段と最後段の光増幅手段との間に接続される可変光減衰部と、1 波長あたりの出力光パワーが一定のレベルになるように前記可変光減衰部の光減衰量を制御する光減衰量制御部と、を備えたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 8】請求項 1～7 のいずれか 1 つに記載の波長多重用光増幅器であって、

前記利得等化手段が、固定の損失波長特性を有する第 1 光フィルタと、波長に対して線形的な損失を有し、その損失波長特性の傾斜量を変化することが可能な第 2 光フィルタと、を備え、

前記利得等化制御手段が、前記入力光測定手段で測定された入力光パワーに応じて、前記第 2 光フィルタの損失波長特性を制御する構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 9】請求項 1～8 のいずれか 1 つに記載の波長多重用光増幅器であって、

前記光増幅手段で発生する自然放出光に基づいて、出力光に含まれる各波長の信号光間の出力偏差を検出する出力偏差検出手段を備え、

前記利得等化制御手段が、前記入力光測定手段で測定された入力光パワー及び前記出力偏差検出手段で検出された出力偏差に応じて、前記利得等化手段の損失波長特性を制御する構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 10】請求項 9 に記載の波長多重用光増幅器であって、

入力光における信号光パワーと当該信号光波長における自然放出光パワーとの比が波長に対して一定である場合において、

前記出力偏差検出手段が、出力光の一部を分岐する出力光分岐部と、

最大入力信号数における最短の信号光波長に近傍する波長の自然放出光のみを前記出力光分岐部の分岐光から抽出する第 1 自然放出光抽出部と、

最大入力信号数における最長の信号光波長に近傍する波長の自然放出光のみを前記出力光分岐部の分岐光から抽出する第 2 自然放出光抽出部と、

前記第 1 及び第 2 自然放出光抽出部で抽出された各自然放出光のパワーに基づいて、出力信号光の出力偏差を求める演算部と、を備えたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項 11】請求項 9 に記載の波長多重用光増幅器であって、

入力光における信号光パワーと当該信号光波長における自然放出光パワーとの比が波長に対して均一でない場合において、

前記出力偏差検出手段が、出力光の一部を分岐する出力光分岐部と、

最大入力信号数における最短の信号光波長に近傍する波長の自然放出光のみを前記出力光分岐部の分岐光から抽出する第1自然放出光抽出部と、

最大入力信号数における最長の信号光波長に近傍する波長の自然放出光のみを前記出力光分岐部の分岐光から抽出する第2自然放出光抽出部と、

入力光の一部を分岐する入力光分岐部と、

最大入力信号数における最短の信号光波長に近傍する波長の自然放出光のみを前記入力光分岐部の分岐光から抽出する第3自然放出光抽出部と、

最大入力信号数における最長の信号光波長に近傍する波長の自然放出光のみを前記入力光分岐部の分岐光から抽出する第4自然放出光抽出部と、

前記第1～第4自然放出光抽出部で抽出された各自然放出光パワーに基づいて、出力信号光の出力偏差を求める演算部と、を備えたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項12】請求項1に記載の波長多重用光増幅器であって、

前記利得等化手段が、互いに異なる固定の損失波長特性を有する複数の利得等化器を備え、

前記利得等化制御手段が、前記入力光測定手段で測定された入力光パワーに応じて、前記複数の利得等化器のうちのいずれか1つを選択し前記光増幅手段に接続する構成としたことを特徴とする波長多重用光増幅器。

【請求項13】請求項1～12のいずれか1つに記載の波長多重用光増幅器を複数備えた光通信システムであって、

前記複数の波長多重用光増幅器を介して伝送された波長多重信号光の光SN比を測定する光SN比測定手段と、前記複数の波長多重用光増幅器の各利得等化制御手段に対して、前記光SN比測定手段で測定される光SN比が予め設定した値以上に良好になるように前記利得等化手段の損失波長特性を制御させる管理信号を順次送る利得等化管理手段と、を備えて構成されたことを特徴とする光通信システム。

【請求項14】請求項13に記載の光通信システムであって、

前記利得等化管理手段が、送信側に配置された前記波長多重用光増幅器の利得等化制御手段に対して前記管理信号を優先的に送ることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長の異なる複数の光信号を含んだ波長多重(WDM)信号光を一括して

増幅する光増幅器及びその光増幅器を用いてWDM信号光の中継伝送を行う光通信システムに関し、特に、広いレベル範囲の入力光にも対応可能な優れた雑音特性を有する波長多重用光増幅器及び光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】波長多重(WDM)光伝送方式は、複数の波長の光信号を1本の光ファイバで伝送することにより、通信容量を増大させるとが可能な伝送方式である。このWDM光伝送方式は、既存の光ファイバを利用できるため導入コストが低く、また、光増幅器等を用いることで伝送路はビットレートフリーとなり、将来のアップグレードが容易であるなどの利点を有する。

【0003】このWDM光伝送方式に適用される光増幅器としては、所要の伝送特性を得るために、出力光を所定の一定レベルに保つことと同時に信号光帯域における利得の波長依存性を抑えることが重要な課題の1つとなる。具体的には、入力光パワーが広いレベル範囲で変化しても、1波長あたりの出力光パワーと利得の波長平坦性が一定に保たれることが要求される。

【0004】このような要求を満たす光増幅器として、例えば、2段構成とした光増幅部の段間に可変光減衰器を設置する基本構成を本出願人は提案している。かかる基本構成の光増幅器では、前段の光増幅部及び後段の光増幅部について利得を一定に制御する自動利得制御(AGC)がそれぞれ行われるとともに、中段に配置した可変光減衰器の光減衰量を調整して、光増幅器の出力光レベルを所要の一定レベルに制御する自動レベル制御(ALC)が行われる。これにより、入力光のパワーレベルが変化した場合でも、各光増幅部における利得波長特性が一定に保持され、かつ、光増幅器の出力光レベルも所要のレベルに保たれるようになる。

【0005】かかる2段構成の光増幅器について、例えば、特開平8-248455号公報や特開平6-169122号公報等で公知の構成もある。かかる光増幅器は、光増幅器全体としての利得を一定に制御しており、入力光パワーが変化しても利得の波長特性を一定に保つものである。さらに、本出願人は、利得等化器(光フィルタ)を用いて光増幅部の利得波長特性を平坦化する技術なども提案している(特願平9-216049号等参照)。

【0006】上記のような従来の光増幅器においては、入力光パワーが比較的小さい場合には、各光増幅部のAGC動作が可能であるが、入力光パワーが大きくなって前段の光増幅部における励起光パワーが上限値に達してしまった場合には、前段光増幅部の動作がAGCでなくなってしまう。そこで、前段光増幅部の励起光パワーが上限値に達した場合には、光増幅器全体での利得が入力光パワーに関係なく一定の値になるように、前段の利得減少分に対応させて後段の光増幅部の利得を増加させる

制御を行うことによって、利得の波長平坦性が一定に保たれてきた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したような従来の光増幅器においては、前段光増幅部への入力光パワーが励起光パワーの上限値に達するような場合、入力光パワーの増加に従って各光増幅部の利得波長特性は設計値から変化していく。このため、設計値を基準とした固定の特性により光増幅部の利得波長特性を補償しているような場合（例えば損失波長特性が固定である利得等化器を前段および後段光増幅部それぞれに用いるなど）には、上記入力光パワーが大きくなったときの利得波長特性の変化に対応できず、光信号パワーを雑音特性に厳しい前段増幅部で過剰に損失させてしまうといった状況が生じる。

【0008】具体的に説明すると、従来の2段構成の光増幅器において、前段光増幅部及び後段光増幅部の各利得波長特性は、入力光パワーに応じて図17（A）及び（B）に示すようにそれぞれ変化する。ただし、図17の利得波長特性は、各光増幅部に公知のエルビウムドープ光ファイバ増幅器（EDFA）を適用し、波長帯域を1.55 μ m帯（1535nm～1561nm付近）としたときの一例である。

【0009】ここで、光増幅器の雑音特性に大きく影響する前段光増幅部に着目すると、図17（A）に示すように、入力光パワーが-16.6dBm/c hと比較的小さいときには、1.55 μ m帯における短波長側の利得が長波長側の利得に比べて高くなっている。一方、入力光パワーが-9.6dBm/c hに増加し、所定の利得を得るための励起光パワーが足りなくなり利得低下が生じる。この時、短波長側の利得が大きく減少して長波長側の利得よりも相対的に低くなっている。

【0010】このような利得波長特性を有する前段光増幅部に対して、これまでは、入力光パワーが比較的小さい場合の利得波長特性に対応させて予め設計した損失波長特性を有する（短波長側に相対的に大きな損失を持つ）利得等化器が適用されていた。したがって、入力光パワーが増加した場合には、短波長側の利得が相対的に減少しているにも拘わらず、損失波長特性が固定の利得等化器によって短波長側の光パワーが過剰に損なわれることになるため、光増幅器の短波長側の雑音特性が粗悪になるという問題があった。

【0011】図18は、上記のような従来の光増幅器の雑音特性（雑音指数）を入力光パワーに応じて示した図である。図18に示すように、入力光パワーが比較的小さいときには1.55 μ m帯の全域について略均一の雑音指数が得られているが、入力光パワーの増加に伴って短波長側の雑音指数が相対的に大きくなる、すなわち光増幅器の短波長側の雑音特性が劣化していることがわかる。

【0012】本発明は上記の点に着目してなされたもので、広いレベル範囲の入力光に対しても信号光利得及び雑音指数の波長平坦性を同時に実現して、優れた雑音特性を有するWDM用光増幅器及び光通信システムを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明のWDM用光増幅器は、波長多重信号光を一括して増幅する光増幅手段を備えたWDM用光増幅器において、入力光パワーを測定する入力光測定手段と、前記光増幅手段に接続され、該光増幅手段の利得の波長依存性を抑圧する損失波長特性を有し、かつ、該損失波長特性を変化させることが可能な利得等化手段と、前記入力光測定手段で測定された入力光パワーに応じて、前記利得等化手段の損失波長特性を制御する利得等化制御手段と、を備えて構成されるものである。

【0014】かかる構成では、WDM用光増幅器に入力されたWDM信号光（入力光）が光増幅手段で一括増幅される。このとき、光増幅手段が利得の波長依存性を持つため、増幅後のWDM信号光（出力光）に利得偏差が生じる。この出力光の利得偏差は、入力光パワーに応じて光増幅手段の動作利得が変化すると、入力光レベルに依存して変化する。しかし、このような出力光の利得偏差は、可変の損失波長特性を有する利得等化手段によって抑圧される。すなわち、利得等化制御手段が入力光測定手段で測定された入力光パワーに応じて利得等化手段の可変の損失波長特性を制御することにより、光増幅手段の利得波長特性の変化に対応した損失波長特性を利得等化手段が持つようになって、出力光の利得偏差が補償されるようになる。これにより、広いレベル範囲の入力光に対しても利得の波長平坦性を確保できる。

【0015】また、上記のWDM用光増幅器については、利得等化手段が、複数段構成の光増幅手段に対して各段ごとに設けられ、利得等化制御手段が、前記各利得等化手段の損失波長特性をそれぞれ制御する構成としてもよい。

【0016】かかる構成によれば、光増幅手段が、例えば前後段の光増幅部を有する2段構成等の複数段構成である場合でも、各段で発生する利得偏差がそれぞれに対応する利得等化手段によって補償されるようになる。

【0017】さらに、上記のWDM用光増幅器は、光増幅手段の利得を一定に制御する利得一定制御手段を備え、利得等化制御手段が、入力光測定手段で測定された入力光パワーを基に、最前段の光増幅手段における光増幅動作が飽和したか否かを判断して、各利得等化手段の損失波長特性をそれぞれ制御する構成としてもよい。

【0018】かかる構成では、利得一定制御手段が光増幅手段の光増幅動作を制御して、光増幅手段の利得が一定となるようにされることで、入力光パワーが変動しても光増幅手段の利得波長特性を変化させないようにす

る。この利得一定制御は、光増幅動作が飽和していないとき有効に機能するが、飽和すると利得が減少して光増幅手段の利得波長特性が変化してしまう。そこで、利得等化制御手段が入力光パワーを基に光増幅動作の飽和を判断し、飽和時の利得波長特性に対応した損失波長特性となるように各利得等化手段を制御することで、光増幅手段が飽和するようなレベルの高い入力光に対しても波長特性の平坦な出力光を得ることができるようになる。

【0019】上記WDM用光増幅器の具体的な構成としては、波長多重信号光が1.55 μ m帯の波長帯域を有し、光増幅手段がエルビウムドープ光ファイバ増幅器を含んで構成され、利得等化制御手段が、最前段の光増幅手段における光増幅動作の飽和を判断したとき、前記最前段の光増幅手段に対して設けられた利得等化手段について、1.55 μ m帯における短波長側の損失量が飽和していないときの損失量よりも少なくなるように損失波長特性を制御する構成としてもよい。

【0020】また、複数段構成の光増幅手段を備えたWDM用光増幅器については、複数の利得等化手段のうちで最前段の光増幅手段に対して設けられる利得等化手段が、最前段の光増幅手段の出力側に接続され、複数の利得等化手段のうちで最後段の光増幅手段に対して設けられる利得等化手段が、最後段の光増幅手段の入力側に接続される構成とするのが好ましい。

【0021】かかる構成によれば、最前段の光増幅手段の出力側に利得等化手段を設けることで、その光増幅手段に入力されるWDM信号光に損失を与えることが防止されて雑音特性の向上を図ることができ、また、最後段の光増幅手段の入力側に利得等化手段を設けることで、その光増幅手段から出力されるWDM信号光に損失を与えることが防止されて励起光パワーの高効率化を図ることができるようになる。

【0022】さらに、上述したWDM用光増幅器については、1波長あたりの出力光パワーを一定のレベルに制御する出力レベル制御手段を備えるようにするのが好ましい。具体的には、出力レベル制御手段が、最前段の光増幅手段と最後段の光増幅手段との間に接続される可変光減衰部と、1波長あたりの出力光パワーが一定のレベルになるように前記可変光減衰部の光減衰量を制御する光減衰量制御部と、を備えるようにしてもよい。

【0023】かかる構成によれば、各波長の信号光パワーが所定の一定値に制御されたWDM信号光が本光増幅器から出力されるようになる。加えて、上述したWDM用光増幅器の具体的な構成として、利得等化手段が、固定の損失波長特性を有する第1光フィルタと、線形的に変化可能な損失波長特性を有する第2光フィルタと、を備え、利得等化制御手段が、入力光測定手段で測定された入力光パワーに応じて、前記第2光フィルタの損失波長特性を制御する構成としてもよい。

【0024】また、上述したWDM用光増幅器について

は、光増幅手段で発生する自然放出光に基づいて、出力光に含まれる各波長の信号光間の出力偏差を検出する出力偏差検出手段を備え、利得等化制御手段が、入力光測定手段で測定された入力光パワー及び出力偏差検出手段で検出された出力偏差に応じて、利得等化手段の損失波長特性を制御する構成とするのが好ましい。

【0025】かかる構成では、出力偏差検出手段によって自然放出光を基に検出された出力光の出力偏差に応じて、利得等化制御手段が利得等化手段の損失波長特性を制御するようになる。これにより、たとえ波長特性がある入力光パワーが入力されても波長平坦性を有する出力光を得ることができ、また、自然放出光を基に出力光の出力偏差を検出するようにしたことで、信号光の数や信号光波長の変動に関係なく出力光の偏差を検出できるため、光増幅器を設置する環境に応じて、所要の利得等化の制御をより確実に行うことが可能となる。

【0026】さらに、上述したWDM用光増幅器の別の構成として、利得等化手段が、互いに異なる固定の損失波長特性を有する複数の利得等化器を備え、利得等化制御手段が、入力光測定手段で測定された入力光パワー等に応じて、複数の利得等化器のうちのいずれか1つを選択し前記光増幅手段に接続する構成としてもよい。

【0027】かかる構成によれば、固定の損失波長特性を有する複数の利得等化器を入力光パワー等に応じて選択的に接続させるようにしたことで、光増幅手段の複雑な利得波長特性に対応した利得等化手段が比較的容易に実現されるようになる。

【0028】また、本発明の光通信システムは、上述したようなWDM用光増幅器を複数備えた光通信システムであって、複数のWDM用光増幅器を介して伝送された波長多重信号光の光SN比を測定する光SN比測定手段と、複数のWDM用光増幅器の各利得等化制御手段に対して、光SN比測定手段で測定される光SN比が予め設定した値以上に良好になるように利得等化手段の損失波長特性を制御させる管理信号を順次送る利得等化管理手段と、を備えて構成されるものである。さらに、利得等化管理手段は、送信側に配置されたWDM用光増幅器の利得等化制御手段に対して管理信号を優先的に送るようにするのが好ましい。

【0029】かかる構成の光通信システムによれば、複数のWDM用光増幅器を介して伝送されたWDM信号光の光SN比が受信側に設けられた光SN比測定手段によって測定され、その測定された光SN比が所要の値以上に良好になるように、利得等化管理手段によって各光増幅器の利得等化手段の損失波長特性が管理されるようになる。これにより、光増幅器を設置する環境で生じる損失波長特性や光増幅器自身の利得波長特性の変化に対しても、光通信システム中の最適な位置で最適な量の利得補償を行うことが可能となり、良好な伝送特性を得ることができるようになる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、全図を通して実質的に同一の部分には同一の符号が付してある。

【0031】図1は、本発明によるWDM用光増幅器の第1の基本構成を示すブロック図である。図1において、本WDM用光増幅器は、入力ポートIN及び出力ポートOUTの間に接続された光増幅手段としての光増幅部1と、入力ポートINに入力される入力光のパワーを測定する入力光測定手段としての入力光モニタ部2と、可変の損失波長特性を有し、例えば光増幅部1及び出力ポートOUT間等に接続される利得等化手段としての可変利得等化器3と、入力光モニタ部2で測定された入力光パワーに応じて、可変利得等化器3の損失波長特性を制御する利得等化制御手段としての利得等化制御部4と、を有している。

【0032】光増幅部1は、波長の異なる複数の光信号を含んだWDM信号光を一括して増幅可能な公知の光増幅器である。この光増幅部1は、上述の図17に示したように使用される光増幅媒体等に固有な利得波長特性（利得の波長依存性）を持ち、動作利得が入力光パワーに応じて変化すると、その利得波長特性は入力される光パワーに応じて変化する。

【0033】入力光モニタ部2は、入力ポートINから光増幅部1に送られる入力光の一部を分岐して光パワーを測定し、その測定結果を基に入力光パワーを検出する。可変利得等化器3は、光増幅部1の利得の波長依存性を抑圧可能な損失波長特性、すなわち、光増幅部1の利得波長特性に対応した損失波長特性を持ち、その損失波長特性は外部からの信号に応じて変化させることができるものとする。ここでは、可変利得等化器3が光増幅部1の出力側に接続される場合を示したが、可変利得等化器3の配置は、光増幅部1の入力側であっても構わない。

【0034】利得等化制御部4は、入力光モニタ部2からの入力光パワー値を基に光増幅部1の動作状態を判断して、光増幅部1の入力光に対応した利得波長特性が抑圧されるように、可変利得等化器3の損失波長特性を制御する信号を生成して、その信号を可変利得等化器3に伝える。

【0035】かかる基本構成のWDM用光増幅器では、入力ポートINに入力されたWDM信号光は光増幅部1に送られるとともに、その入力光の一部が分岐され入力光モニタ部2に送られる。光増幅部1では、入力光パワーに対応した利得波長特性で各波長の信号光が一括して増幅され、可変利得等化器3に送られる。このとき、可変利得等化器3の損失波長特性は、利得等化制御部4からの信号によって光増幅部1の実際の利得波長特性に対応した特性に制御されている。これにより、可変利得等化器3では、制御された損失波長特性に従って光増幅部

1からの出力光が減衰され、波長に対して均一なパワーを有するWDM信号光が出力ポートOUTから出力されるようになる。

【0036】このように本光増幅器は、WDM信号光の入力レベルが広い範囲で変化するときにも、入力光パワーに応じて変化する光増幅部の利得波長特性を確実に補償できるため、平坦な利得波長特性の出力光を得ることが可能である。これにより、従来のように固定の利得等化器によってWDM信号光を過剰に損失させてしまうようなことが防止でき、これは、利得等化器を光増幅媒体の入力側に設置する場合において、光増幅器の雑音特性を向上させることができる。

【0037】次に、上記第1の基本構成を適用したWDM用光増幅器の好ましい実施形態について説明する。図2は、第1の実施形態のWDM用光増幅器の構成を示すブロック図である。

【0038】図2において、第1の実施形態の光増幅器は、実質的に2段構成とした光増幅部の段間に可変光減衰器を配置した従来と同様の構成に対して、上記の基本構成を適用したものである。ここでは、例えば、前段及び後段の各光増幅部としてエルビウムドープ光ファイバ増幅器（EDFA）を使用し、前段の光増幅部は1つのEDFA11を有し、後段の光増幅部は直列に接続された2つのEDFA12、12'を有するものとする。なお、後段の光増幅部を2段のEDFA12、12'で構成したが、これは光増幅器の高出力化を実現するために後段の光増幅部をさらに2段構成としただけであって、実質的には1つのEDFAと考えても構わない。

【0039】各EDFA11、12、12'それぞれは、励起光の供給を受けて励起状態とされたエルビウムドープ光ファイバ（EDF）内に、1.55 μ m帯のWDM信号光を入射させ通過させることによって、各波長の信号光を一括して増幅する。なお、各EDFAの励起光波長は、0.98 μ m帯または1.48 μ m帯等とすることができ、ここでは、例えばEDFA11及び12の励起光波長を0.98 μ m帯として光増幅器の低雑音化を図り、EDFA12'の励起光波長を1.48 μ m帯として高出力化を実現するようにしている。

【0040】また、各々のEDFAには、利得を一定に制御するAGC回路11A、12Aがそれぞれ設けられている。各AGC回路は、該当するEDFAの入力光及び出力光の各パワーをモニタし、そのEDFAにおける利得が所要の値となるように励起光パワーの自動制御を行う。ここでは、すべてのEDFAにおける全体の利得が一定となるように、各々のAGC回路による制御が実施される。

【0041】前段の光増幅部（EDFA11）及び後段の光増幅部（EDFA12、12'）の各利得波長特性は、上述の図17（A）及び（B）と同様の特性をそれぞれ示すものとする。具体的には、EDFA11の利得

波長特性は、入力光パワーが大きくなって励起光パワーが上限値に達する（EDFA11の光増幅動作が飽和する）と、1.55 μ m帯における短波長側の利得が長波長側に比べて相対的に減少する特徴を持つ。この入力光パワーの増大による利得波長特性の変化は、励起光パワーが上限値に達することで前段光増幅部のAGCが有効に機能しなくなることによって起因する。一方、EDFA12, 12'の利得波長特性は、短波長側の利得が長波長側に比べて相対的に小さく、この関係は入力光パワーが大きくなった場合でも同様である。これは、EDFA11の励起光パワーが上限値に達するような入力光パワーのときにでも、後段のEDFA12, 12'は飽和せず、そのため、光増幅器全体のAGCが有効に機能して利得波長特性が一定に保たれるためである。

【0042】上記のような利得の波長依存性を抑圧するために、本光増幅器では、前段光増幅部のEDFA11に対して可変利得等化器（VGEQ）11Bが設けられ、後段光増幅部のEDFA12, 12'に対しては、可変利得等化器（VGEQ）12Bが設けられる。各可変利得等化器11B, 12Bとしては、例えば、音響光学効果を利用した可変の光フィルタ（AOTF）等とするのが好適である。このAOTFは、外部から与えるRF信号の周波数を制御することにより、発生する弾性表面波（SAW）を変化させて損失波長特性を変えることのできるデバイスである。

【0043】図3は、各可変利得等化器の損失波長特性の一例を入力光パワーに応じて示した図であって、

（A）は前段の可変利得等化器11Bの特性、（B）は後段の可変利得等化器12Bの特性を示すものである。

【0044】図3に示すように、各可変利得等化器11B, 12Bの損失波長特性は、EDFA11及びEDFA12, 12'の各利得波長特性に対応した特性を有している。すなわち、図3（A）の可変利得等化器11Bの損失波長特性は、入力光パワーが-16.6 dBm/chと比較的小さいとき、1.55 μ m帯における長波長側の抑圧比がほぼ一定であり、かつ、短波長側の1540 nm付近における抑圧比の絶対値（損失量）が長波長側に比べて小さくなる。また、入力光パワーが-9.6 dBm/chと大きくなったときには、1540 nm付近における抑圧比がほぼ0 dBとなって長波長側に向けて抑圧比の絶対値が大きくなる。この場合、さらに詳しくは、波長に対する抑圧比の変化量（傾き）について、1535~1539.8 nm間（短波長側）の値が1539.8~1561 nm間（長波長側）の値の4倍程度となるように設計するのが好ましい。

【0045】一方、図3（B）の可変利得等化器12Bの損失波長特性は、入力光パワーが-16.6 dBm/chと比較的小さいとき、1540 nm付近における抑圧比がほぼ0 dBとなって長波長側に向けて抑圧比の絶対値が大きくなる。また、入力光パワーが大きくなった

ときには、1540 nm付近における抑圧比の絶対値が入力光パワーの小さいときに比べて若干大きくなるものの、ほぼ同様の波長特性となる。

【0046】さらに、上記各可変利得等化器11B, 12Bに対しては、利得等化制御回路（VGEQ CONT）13が設けられる（図2）。この利得等化制御回路13は、入力光パワーに応じて各可変利得等化器11B, 12Bの損失波長特性を制御するための信号を生成する。利得等化制御回路13に送られる入力光パワー値は、光カプラ13A、受光器（PD）13B及び入力光モニタ回路（MON）13Cによって得られる。光カプラ13Aは、入力ポートINとEDFA11の間に挿入され、入力光の一部を分岐して受光器13Bに送る。受光器13Bは、光カプラ13Aからの分岐光を電気信号に変換して入力光モニタ回路13Cに送る。入力光モニタ回路13Cは、受光器13Bからの信号に応じて入力光パワーを算出しその結果を利得等化制御回路13に送る。

【0047】また、本光増幅器の前段光増幅部及び後段光増幅部の段間には、出力レベル制御手段を構成する可変光減衰器（VATT）14が設けられる。可変光減衰器14は、外部からの信号により光減衰量を変化させることのできる公知の光減衰器である。この可変光減衰器42の光減衰量は、光減衰量制御部としてのALC回路14Aから出力される信号によって制御される。ALC回路14Aは、可変光減衰器14の出力光を光カプラ14Bで分岐し受光器（PD）14Cで光電変換した信号と、EDFA12'の出力光を光カプラ14Dで分岐し受光器（PD）14Eで光電変換した信号とに基づいて、本光増幅器の1波長あたりの出力光パワーが一定のレベルとなるように可変光減衰器42の光減衰量を制御する信号を発生する。

【0048】さらに、ここでは本光増幅器に接続される光ファイバ伝送路等で生じる波長分散を補償するための分散補償ファイバ（DCF）15が、例えば光カプラ14BとEDFA12の間に接続されている。なお、この分散補償ファイバ15は、分散補償の必要性に応じて設ければよく、一般的には、伝送速度が2.5 Gb/sを超えるようなとき（例えば10 Gb/s等）に光増幅器内に設けることが好ましい。

【0049】上記のような構成を有する第1の実施形態の光増幅器では、入力ポートINに入力されたWDM信号光が、光カプラ13Aを通過してEDFA11に送られるとともに、その一部が光カプラ13Aで分岐され受光器13Bで光電変換されて入力光モニタ回路13Cに送られる。

【0050】EDFA11では、入力光パワーに対応した利得波長特性で各波長の信号光が一括して増幅され、可変利得等化器11Bに送られる。このとき、入力光パワーが比較的小さい励起光パワーが上限値に達していな

い場合には、AGC回路11Aが有効に機能して利得が一定に制御される。一方、入力光パワーが大きくなり励起光パワーが上限値に達した場合には、EDFA11の動作が励起光パワー一定制御となって利得が一定に保たれなくなり、この場合には、1.55μm帯における短波長側の利得減少量が長波長側に比べて多くなる。

【0051】入力光モニタ回路13Cでは、受光器13Bからの信号を基に入力光パワーが求められ、その結果が利得等化制御回路13に伝えられる。そして、利得等化制御回路13では、入力光パワーに対応させて各可変利得等化器11B、12Bごとに予め設定しておいた信号を、それぞれの変利得等化器11B、12Bに出力する。この利得等化制御回路13からの信号によって、各可変利得等化器11B、12Bの損失波長特性が入力光パワーに対応したものに制御される。

【0052】可変利得等化器11Bに送られたEDFA11の出力光は、入力光パワーに対応した損失波長特性に従って減衰される。ここでの特徴は、入力光パワーが大きくなったときに、EDFA11の短波長側の利得減少に対応して、可変利得等化器11Bの短波長側の損失量が少なくなるようにして、前段光増幅部の利得の波長平坦性を維持することにある。そして、可変利得等化器11Bで利得等化されたWDM信号光は、可変光減衰器14、光カプラ14B及び分散補償ファイバ15を通過

してEDFA12に送られる。

【0053】EDFA12に送られたWDM信号光は、AGC回路12Aの制御下で一括増幅された後、可変利得等化器12Bにおいて入力光パワーに対応した利得等化が行われる。可変利得等化器12Bで利得等化されたWDM信号光は、EDFA12'に送られて、AGC回路12Aの制御下で一括増幅される。このEDFA12'の出力光は、各波長の信号光パワーが均一に揃えられWDM信号光となる。

【0054】さらに、本光増幅器では、EDFA12'の出力光の一部及び可変光減衰器14の出力光の一部が、光カプラ14D及び14B、受光器14E及び14Cを介してALC回路14Aにフィードバックされ、ALC回路14Aによって可変光減衰器14の光減衰量が制御される。これにより、1波長あたりの出力光パワーが一定に制御されたWDM信号光が出力ポートOUTを介して外部に出力されるようになる。

【0055】ここで、第1の実施形態の光増幅器について雑音特性をシミュレーションした結果を以下に示す。一般に、光増幅器の雑音指数NFは次の数1に示す

(1)式で与えられる。

【0056】

【数1】

$$NF = 10 \log \left\{ NF_{amp(1)} + \frac{NF_{amp(2)}}{G_{amp(1)}} + \frac{NF_{amp(2)}}{G_{amp(1)} \cdot G_{amp(2)}} + \dots + \frac{NF_{amp(n)}}{\prod_{k=1}^n G_{amp(k)}} \right\} \quad (1)$$

$$NF_{amp(n)} = L(n) + NF_{EDF(n)}$$

$$G_{amp(2)} = \{EDF(n) \text{ の利得} \} - L(n)$$

$$NF_{EDF} = 10 \log \left\{ \frac{10^{(P_{ASE}/10)} / 1000}{h \nu \cdot \Delta \nu \cdot 10^{G/10}} \right\} \quad [dB]$$

【0057】ただし、EDF_(n)はn段目の光増幅媒体、L_(n)はn段目の光増幅部における光部品の挿入損失、NF_{EDF(n)}はEDF_(n)の雑音指数、P_{ASE}は自然放出(ASE)光のパワー[dBm]、hはプランク定数、νは光の搬送波周波数、Δνは光スペクトルアナライザの分解能から決まる帯域幅[Hz]、Gは信号利得[dB]である。

【0058】本光増幅器の場合、3つのEDFAから構成されるので(1)式においてn=3として雑音指数を計算することが可能である。ここでは、例えば入力光パ

ワーとして-16.6dBm/ch及び-9.6dBm/chを想定し、-9.6dBm/chのとき前段のEDFA11の利得が約4dB減少すると設定して、本実施形態の光増幅器及び従来の光増幅器(固定の利得等化器を使用)の各雑音指数NFをシミュレーションした。次の表1及び図4は、そのシミュレーション結果を示したものである。

【0059】

【表1】

| 光増幅器の入力光パワー [dBm/ch] | 雑音指数の波長偏差 [dB] (1535.82~1560.61nm) | 信号帯域における 最悪雑音指数 [dB] |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| -16.6 (従来及び本実施形態) | 0.13 | 7.26 |
| -9.6 (従来) | 1.7 | 14.23 |
| -9.6 (本実施形態) | 0.14 | 13.46 |

【0060】このようなシミュレーションの結果より、本光増幅器は従来のもものと比較して、雑音指数の波長平坦性（波長偏差）について1.56 dBの改善が見込まれ、最悪雑音指数については0.8 dBの改善が見込まれる。

【0061】上述のように第1の実施形態の光増幅器によれば、広いレベル範囲の入力光に対しても利得及び雑音指数の波長平坦性を同時に実現することができる。これにより、入力光パワーが大きな場合であっても、従来のように1.55 μ m帯における短波長側の雑音特性が劣化してしまうようなことがなくなり、優れた雑音特性を持つ光増幅器を実現することができる。

【0062】なお、上記第1の実施形態では、前段光増幅部の励起光波長として0.98 μ m帯を適用した。これは(1)式からもわかるように前段光増幅部の雑音特性が光増幅器全体の雑音特性に大きな影響を与えることを考慮したものである。しかしながら、前段光増幅部の励起光波長として1.48 μ m帯を適用する必要性が生じた場合、入力光パワーが比較的小さなときにでも1.55 μ m帯における短波長側の雑音特性が粗悪になってしまう。このような場合には、入力光パワーが比較的小さなときについても、前段の可変利得等化器11Bの短波長側の損失を積極的に緩和し、その緩和分に対応させて、後段の可変利得等化器12Bの損失を増加させるようにする。図5(A)及び(B)には、例えば入力光パワーが-16.6 dBm/chの場合における前段及び後段の各可変利得等化器の損失波長特性の一例を前段の励起波長に応じて示しておく。

【0063】このような措置をとるときには、前段光増幅部の利得にあえて波長特性がつくことになり、利得一定制御に誤差が生じることになる。しかし、1.48 μ m帯励起方式の場合、この利得一定制御の誤差の影響よりも雑音特性の改善効果の方が大きいということがシミュレーションの結果より云える。すなわち、入力光パワーが-16.6 dBm/chのときの最悪雑音指数を計算すると、上記の措置をとらない場合に7.67 dBとなるのに対して、上記の措置をとった場合には7.29 dBとなり、0.38 dBの改善効果が得られる。したがって、上記の措置を施すことは、前段光増幅部を1.48 μ m帯励起方式とするような場合に有効である。

【0064】次に、第2の実施形態のWDM用光増幅器について説明する。図6は、第2実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。図6において、本光増幅器は、第1実施形態の光増幅器（図2）について、前段

の可変利得等化器11Bを2つの光フィルタ11B₁、11B₂で構成し、後段の可変利得等化器12Bを2つの光フィルタ12B₁、12B₂で構成したものである。上記以外の第2実施形態の構成は、第1実施形態の構成と同様であるので説明を省略する。

【0065】可変利得等化器11Bを構成する光フィルタ11B₁は、従来の場合と同様に固定の損失波長特性を有する光フィルタであって、その損失波長特性は、EDFA11の基準となる利得波長特性（設計値）に対応させて設計される。このような光フィルタのデバイスとしては、例えば、ファイバブラッググレーティングやエタロンフィルタ等が適している。また、可変利得等化器12Bを構成する光フィルタ12B₁も、上記の光フィルタ11B₁と同様に、EDFA12、12'の基準となる利得波長特性に対応した固定の損失波長特性を有する光フィルタである。

【0066】可変利得等化器11Bを構成する光フィルタ11B₂は、波長に対して線形的な損失波長特性を有し、線形性の傾斜量を変化可能な光フィルタであって、その損失波長特性は、EDFA11の利得波長特性が設計値から変動した場合などに生じる利得偏差が補償されるような、線形性を有する可変の波長特性に設計される。このような光フィルタのデバイスとしては、例えば、磁気光学効果や音響光学効果を利用した光フィルタ等が適している。また、可変利得等化器12Bを構成する光フィルタ12B₂も、上記の光フィルタ11B₂と同様である。

【0067】図7は、磁気光学効果を利用した光フィルタ11B₂、12B₂の構成例を示すブロック図である。図7の光フィルタは、入射光が入力側のレンズ、複屈折楔及び複屈折板を介して可変ファラデー回転子に入力され、該可変ファラデー回転子を通じた光が出力側の複屈折楔及びレンズを介して出力される構成である。可変ファラデー回転子は、外部から与えられる信号により磁場が制御され偏光面の回転角が変化する特性を有する。

【0068】このような磁気光学効果を利用した光フィルタの損失波長特性は、図8に示すように、波長に対する損失がほぼ線形的に変化し、可変ファラデー回転子に与える信号（電流値）を変えることによってその傾きが制御される。

【0069】したがって、損失波長特性が可変の光フィルタ11B₂、12B₂と損失波長特性が固定の光フィルタ11B₁、12B₁とを組み合わせることで、第1実施形態で使用した可変利得等化器11B、12B

と同様の機能がそれぞれ実現されるようになる。

【0070】かかる構成の光増幅器では、各光フィルタ11B₁、12B₁の固定の損失波長特性が、例えば入力光パワーが比較的小さいときのEDFAの利得波長特性に対応させて設計されているとすると、入力光モニタ回路13Cで小さな入力光パワーが検出された場合、利得等化制御回路13は、各光フィルタ11B₂、12B₂の損失波長特性の傾きがほぼ0となるように制御する信号を各光フィルタ11B₂、12B₂にそれぞれ出力する。一方、入力光モニタ回路13Cで大きな入力光パワーが検出された場合には、利得等化制御回路13は、光フィルタ11B₂の損失波長特性がEDFA11の利得波長特性の設計値からのずれを補償する傾きとなるように制御する信号を光フィルタ11B₂に出力するとともに、光フィルタ12B₂の損失波長特性が光フィルタ11B₂とは相反する傾きとなるように制御する信号を光フィルタ12B₂に出力する。これにより第1の実施形態の場合と同様の作用効果が得られるようになる。

【0071】このように第2の実施形態によれば、EDFAの利得波長特性に対応した複雑な損失波長特性を有する可変利得等化器を1つの光デバイスで実現することが困難な場合であっても、上記のように固定及び可変の2種類の光フィルタを組み合わせることで、所望の波長特性を有する可変利得等化器を比較的容易に実現することが可能である。

【0072】次に、第3の実施形態のWDM用光増幅器について説明する。図9は、第3実施形態のWDM用光増幅器の構成を示すブロック図である。本光増幅器は、例えば第1実施形態の光増幅器(図2)について、各EDFA11、12、12'で発生する自然放出光(ASE光)を基に出力光のチャンネル間出力偏差を検出するための構成を付加したものである。なお、ここでは入力光における信号光パワーとその信号光波長におけるASE光との比が波長に対して一定である光増幅器への適用を前提とする。

【0073】具体的には、図9において、出力光分岐部としての光カプラ16Aと、該光カプラ16Aの分岐光をさらに2分岐する光カプラ16Bと、第1及び第2ASE光抽出部としての光フィルタ16C及び16Dと、各光フィルタ16C、16Dを通過した光を電気信号に変換する受光器16E、16Fと、各受光器16E、16Fからの信号を基にASE光パワーを求める演算部としてのASE光モニタ回路16と、が付加される。上記以外の構成は、第1実施形態の構成と同様である。

【0074】光カプラ16Aは、例えば、EDFA12'と光カプラ14Dの間に挿入され、EDFA12'の出力光の一部を分岐して光カプラ16Bに送る。光フィルタ16Cは、光カプラ16Bでさらに2分岐された一方の光信号から、最大入力信号数における最短の信号光波長に近傍する狭波長帯のASE光を抽出するもので

ある。また、光フィルタ16Dは、光カプラ16Bで2分岐された他方の光信号から、最大入力信号数における最長の信号光波長に近傍する狭波長帯のASE光を抽出するものである。

【0075】図10は、各光フィルタ16C、16Dで抽出されるASE光の概容を示した図である。図10に示すように、ここでは、光フィルタ16Cの透過帯域の中心波長 λ_s を最短信号波長 λ_{\min} の短波長側近傍に設定し、光フィルタ16Dの透過帯域の中心波長 λ_L を最短信号波長 λ_{\max} の短波長側近傍に設定する。中心波長 λ_s 、 λ_L から信号波長 λ_{\min} 、 λ_{\max} までの波長幅は、各光フィルタ16C、16Dの透過帯域幅に応じて決まり、光フィルタの透過帯域内に信号光が含まれない範囲で可能な限り狭くする。この急峻な透過特性を有する光フィルタとしては、例えばファイバブラッググレーティング等が好適であり、その透過帯域幅は0.1nm程度のもので実現されている。このような光フィルタを使用する場合には、中心波長 λ_s 、 λ_L から信号波長 λ_{\min} 、 λ_{\max} までの幅は1nm程度に設定すればよい。

【0076】ASE光モニタ回路16は、光フィルタ16Cで抽出され受光器16Eで光電変換された信号を基に最短波長近傍のASE光パワーを求めるとともに、光フィルタ16Dで抽出され受光器16Fで光電変換された信号を基に最長波長近傍のASE光パワーを求め、各ASE光パワーの偏差に応じて出力光におけるチャンネル間出力偏差を算出し、その値を利得等化制御回路13に送る。ここで、ASE光パワーの偏差を信号光の出力偏差とすることができるのは、信号光とASE光の比が波長に対して一定であることによる。

【0077】さらに、利得等化制御回路13では、ASE光モニタ回路16で検出された信号光の出力偏差が補正されるように、各可変利得等化器の損失波長特性の微調整が行われる。

【0078】このような構成により、第3の実施形態の光増幅器では、入力信号光パワーに波長特性があっても、光増幅器を適用する環境に応じて、チャンネル間の出力バラツキが小さい出力光を得るように利得等化制御を実施することができる。また、ASE光パワーを測定するようにしたことで、信号光の数や信号光波長の変動に関係なく出力光のチャンネル間出力偏差を検出でき、これを補償することができる。

【0079】なお、上記第3の実施形態では、光増幅器内を出力側に伝搬するASE光を光カプラ16Aで取り出す構成としたが、本発明はこれに限らず、入力側等の任意の方向に伝搬するASE光をモニタするようにしてもよい。

【0080】また、各光フィルタ16C、16Dの中心波長 λ_s 、 λ_L を信号波長 λ_{\min} 、 λ_{\max} の外方側にそれぞれ設定したが、本発明はこれに限らず信号波長 λ_{\min} 、 λ_{\max} の内方側に中心波長 λ_s 、 λ_L を設定しても構わない。

い。この場合、信号波長 λ_{MIN} 、 λ_{MAX} に隣接する信号波長が各光フィルタ16C、16Dの透過帯域内に含まれないように注意する必要がある。

【0081】次に、第4の実施形態のWDM用光増幅器について説明する。図11は、第4実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。本光増幅器は、入力光における信号光パワーとその信号光波長におけるASE光との比が波長に対して均一でない場合にも適用できるように、第3実施形態の光増幅器を改良したものである。

【0082】図11において、本光増幅器は、第3実施形態の光増幅器（図9）について、入力光分岐部としての光カプラ17Aと、該光カプラ17Aの分岐光をさらに2分岐する光カプラ17Bと、第3及び第4ASE光抽出部としての光フィルタ17C及び17Dと、各光フィルタ17C、17Dを通過した光を電気信号に変換する受光器（PD）17E、17Fと、各受光器17E、17Fからの信号を基にASE光パワーを求めるASE光モニタ回路（ASE MON）17と、が付加される。上記以外の構成は、第3実施形態の構成と同様である。

【0083】光カプラ17Aは、例えば、光カプラ13AとEDFA11の間に挿入され、本光増幅器の入力光の一部を分岐して光カプラ17Bに送る。各光フィルタ17C、17Dとしては、上述した光フィルタ16C、16Dと同様のものがそれぞれ用いられる。

【0084】ASE光モニタ回路17は、光フィルタ17Cで抽出され受光器17Eで光電変換された信号を基に最短波長近傍のASE光パワーを求めるとともに、光フィルタ17Dで抽出され受光器17Fで光電変換された信号を基に最長波長近傍のASE光パワーを求め、それぞれのパワー値を利得等化制御回路13に送る。

【0085】かかる構成の光増幅器では、出力光に含まれるASE光の最短波長近傍及び最長波長近傍の各光パワーがASE光モニタ回路16で検出され、利得等化制御回路13に送られる。また、これと同時に、入力光に含まれるASE光の最短波長近傍及び最長波長近傍の各光パワーもASE光モニタ回路17で検出され、利得等化制御回路13に送られる。利得等化制御回路13では、最短波長近傍及び最長波長近傍の各ASE光パワーについて、入力値（ASE光モニタ回路17の検出値）から出力値（ASE光モニタ回路16の検出値）を差し引いた値が算出される。そして、算出された短波長側及び長波長側の各値が等しくなるように、各可変利得等化器の損失波長特性の微調整が行われる。これにより、入力光の信号光とASE光の比と同じ波長特性を有する出力光を得るように利得等化制御を実施することができ、もちろん、ASE光パワーを測定するため、信号光の数や信号光波長の変動に関係なく確実に利用することが可能である。

【0086】次に、第1の基本構成を变形した第2の基本構成について説明する。図12は、WDM用光増幅器の第2の基本構成を示すブロック図である。図12において、本光増幅器は、第1の基本構成の場合と同様の光増幅部1及び入力光モニタ部2と、互いに異なる固定の損失波長特性を有する複数の利得等化器5と、入力光モニタ部2で測定された入力光パワーに応じて、複数の利得等化器5のうちのいずれか1つを選択して、例えば光増幅部1及び出力ポートOUT間等に接続する利得等化制御手段としての利得等化選択部6と、を有している。

【0087】複数の利得等化器5は、光増幅部1の利得の波長依存性を抑圧可能な互いに異なる固定の損失波長特性を持ち、それぞれの利得等化器5の損失波長特性は、入力光パワーに応じて変化する光増幅部1の利得波長特性に対応したものに予め設計されている。各利得等化器5に用いる光デバイスとしては、融着WDMカプラ、ファイバブラッググレーティング、エタロンフィルタ等が適している。

【0088】利得等化選択部6は、入力光モニタ部2からの入力光パワー値を基に光増幅部1の動作状態を判断して、該光増幅部1の利得波長特性に対応した損失波長特性を持つ利得等化器5を複数の利得等化器5のうちから1つ選択し、その利得等化器5を光増幅部1の出力側に接続させる。ここでは、いずれかの利得等化器5が光増幅部1の出力側に接続される場合を示したが、利得等化器3の接続位置は、光増幅部1の入力側であっても構わない。

【0089】かかる第2の基本構成の光増幅器では、第1の基本構成の場合と同様に、入力ポートINにWDM信号光が入力されると、その入力光は、光増幅部1において各波長の信号光が一括して増幅されるとともに、入力光モニタ部2において入力光パワーがモニタされる。入力光モニタ部2で得られた入力光パワー値は利得等化選択部6に送られ、利得等化選択部6では、入力光パワーに対応した利得等化器5が選択され光増幅部1の出力側に接続される。そして、光増幅部1で増幅されたWDM信号光は、選択された利得等化器5に送られ固定の損失波長特性に従って減衰され、波長に対して均一なパワーを有するWDM信号光が出力されるようになる。このように第2の基本構成の光増幅器においても、第1の基本構成の場合と同様の作用効果を得ることができる。

【0090】上記第2の基本構成は、例えば図13のブロック図に示すように、上述した第1の実施形態の構成について、各可変利得等化器11B、12Bをそれぞれ複数の利得等化器（GEQ）21、22に置き換え、利得等化制御回路13を利得等化選択回路（GEQ SEL）23に置き換えることによって具体化される。また、第2の実施形態の場合には、可変の損失波長特性を有する光フィルタ11B₁、12B₂をそれぞれ複数の利得等化器21、22に置き換えて、従来と同様の1つの

固定光フィルタ11B₁、12B₁及び複数の利得等化器21、22の組み合わせとし、かつ、利得等化制御回路13を利得等化選択回路23に置き換えることによって具体化される。さらに、第3及び第4の実施形態の場合についても、上記の場合と同様にして具体化することが可能である。

【0091】ここで、複数の利得等化器5に必要な補償量について具体的に検討する。光増幅器を設置する環境において、常時、一定に発生すると考えられる波長特性としては、光ファイバ伝送路の損失波長特性と、分散補償器(DCF)の損失波長特性と、光増幅器自身の利得波長特性と、経時劣化による損失波長特性と、が挙げられる。信号光帯域を1.55 μ m帯としてそれぞれの値を見積もると、光ファイバ伝送路(1.3 μ mSMF, 80km)の損失波長特性は-0.5dB、分散補償器の損失波長特性は±0.5dB、光増幅器の利得波長特性は±1.0dB、経時劣化による損失波長特性は±0.5dBとなる。ただし、波長に対して挿入損失(あるいは挿入利得)が大きくなる場合を「+」とし、小さくなる場合を「-」とする。上記各値の絶対値を単純に加算した波長特性は2.5dBとなる。

【0092】したがって、複数の利得等化器5の組合せとして、例えば、1.55 μ m帯における傾斜量が+1.0dBの損失波長特性を有する利得等化器と、1.55 μ m帯における傾斜量が+2.0dBの損失波長特性を有する利得等化器と、1.55 μ m帯における傾斜量が-1.0dBの損失波長特性を有する利得等化器と、1.55 μ m帯における傾斜量が-2.0dBの損失波長特性を有する利得等化器と、を設けることで多くの場合の利得補償を行うことが可能となる。図14には、各利得等化器の損失波長特性を示しておく。なお、上記の組合せは一例であって、本発明がこれに限定されるものではない。

【0093】次に、本発明による光通信システムの実施形態について説明する。図15は、本実施形態の光通信システムの構成を示すブロック図である。図15において、本光通信システムは、送信側の端局100と、受信側の端局200と、それら送受信端局の間を結ぶ光ファイバ伝送路300と、該光ファイバ伝送路300の途中に設けられる複数の光中継局400とから構成される。

【0094】送信側の端局100は、波長の異なる複数の(例えば32波等)の光信号をそれぞれ出力する複数の光送信器(E/O)101と、複数の光信号を波長多重してWDM信号光とし光ファイバ伝送路300に出力する合波器102と、WDM信号光を所要のレベルに増幅するポストアンプ103とを有する。

【0095】受信側の端局200は、光ファイバ伝送路300により伝送されたWDM信号光を所要のレベルに増幅するプリアンプ201と、プリアンプ201からの出力光の一部を分岐する光カプラ202と、光カプラ2

02を通過したWDM信号光を波長に応じて複数の光信号に分ける分波器203と、複数の光信号をそれぞれ受信処理する複数の光受信器(O/E)204と、光カプラ202で分岐されたWDM信号光を用いて受信端局200における各波長の光SN比を測定し、WDM信号光の伝送状態を判定する受信モニタ部205とを有する。ここでは、受信モニタ部205が光SN比測定手段及び利得等化管理手段として機能する。

【0096】光ファイバ伝送路300は、例えば単一モード光ファイバ(SMF)等の一般的な光伝送路とする。各局間のSMFの長さは、ここでは例えば80km等とするが、この値に限定されるものではない。

【0097】各光中継局400は、上述のいずれかの実施形態で示したWDM用光増幅器をそれぞれ備え、光ファイバ伝送路300により伝送されたWDM信号光を一括して増幅する。また、送信端局100のポストアンプ103及び受信端局200のプリアンプ201についても、上述のいずれかの実施形態で示したWDM用光増幅器が適用されるものとする。これら各局に設けられたWDM用光増幅器の利得等化制御回路13(あるいは利得等化選択回路23)に対して、受信端局200の受信モニタ部205から出力される信号(管理信号)が送られる。この信号は、受信モニタ部205で判定されたWDM信号光の伝送状態に従って各光増幅器の利得等化動作を制御する信号である。

【0098】次に、上記のような構成の光通信システムにおける利得等化の制御動作について説明する。一般に、光増幅器を適用したWDM光通信システムにおいて所定の伝送特性を得るためには、各増幅中継段において各波長(チャネル)間の信号光パワーのバラツキを1dB以下に抑える必要がある。各信号光パワーは、その上限が非線形効果により制限され、下限が受信SN比により制限されることが知られている。そこで、各光増幅器の利得波長特性を小さくすることはもちろんのこと、光通信システムを構成する光ファイバ伝送路300等の損失波長特性についても小さくすることが必要になる。

【0099】光通信システムにおいて、各光増幅器の可変利得等化器(あるいは複数の利得等化器)で行われる利得等化は、前述したような常時一定に発生する損失波長特性(見積値2.5dB)だけでなく、入力条件の動的な変化や温度変化などにより発生する損失波長特性に対しても補償が行われることが望まれる。具体的には、例えば、誘導ラマン散乱により伝送路(SMF, 80km)に発生する損失波長特性が約-1dBとなることが本出願人によって確認されており、また、光ファイバ伝送路、分散補償器及び光増幅器の温度特性により発生する損失波長特性が±0.3dB程度になると考えられる。これらの値を前述の見積値2.5dBに加算すると、各光増幅器の可変利得等化器(あるいは複数の利得等化器)は、損失波長特性の変化の幅として3.8dB

程度が必要となる。この場合の可変利得等化器の損失波長特性を図 16 に示しておく。

【0100】上記のような誘導ラマン散乱や温度変化による損失波長特性は、光通信システムのいずれの部分で発生したかを特定することが困難であるため、受信端局 200 における WDM 信号光の受信状態に基づいて判断することが必要となる。本光通信システムでは、受信端局 200 の受信モニタ部 205 において光 SN 比が測定され、その光 SN 比の値が予め設定した閾値よりも劣化した場合に、各光増幅器の利得等化動作を制御する管理信号が受信モニタ部 205 から各光増幅器に出力される。

【0101】この管理信号は、光通信システムの送信（上流）側に位置する光増幅器に対して優先的に送られ、受信（下流）側の光増幅器まで順次出力される。管理信号を受けた利得等化制御回路 13（あるいは利得等化選択回路 23）は、可変利得等化器の損失特性を段階的に変化させ（あるいは、複数の利得等化器を順に切り替えて接続させ）、それぞれ変化させたときの受信 SN 比が受信モニタ部 205 で測定される。そして、すべての光増幅器に対する上記の動作が終了すると、最も良好な伝送特性が得られたときの動作状態となるように、各可変利得等化器の損失波長特性が設定される。

【0102】なお、ここでは、受信 SN 比が閾値より劣化したときに上記一連の処理を実行するようにしたが、本発明における利得等化の制御方法はこれに限られるものではない。例えば、ある時間内で試行錯誤的に各光増幅器の可変利得等化器の損失特性を変化させて受信 SN 比を測定し、その中で最も良好な伝送特性を得たときの動作状態に各可変利得補償器の損失波長特性を設定するようにしても構わない。

【0103】このように本光通信システムによれば、光中継局 400 等に用いられる光増幅器として上述した各実施形態の WDM 用光増幅器を適用し、光増幅器を設置する環境で生じる損失波長特性や光増幅器自身の利得波長特性に対し、各光増幅器において各チャネル間の光パワーのバラツキを抑えるようにしたことによって、光通信システム中の最適な位置で最適な量の利得補償を行うことが可能となり、良好な伝送特性を得ることができるようになる。

【0104】なお、上述した各実施形態では、WDM 信号光の波長帯域を 1.55 μm 帯として説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、EDFA の長波長側の増幅帯域として注目されている 1.58 μm 帯に対応させた波長帯域の WDM 信号光について応用することもできる。また、光増幅手段として EDFA を用いたが、これに限らず、例えばエルビウム以外の他の希土類元素を含んだ希土類元素ドープ光ファイバ増幅器等についても応用可能である。

【0105】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の WDM 用光増幅器によれば、可変の損失波長特性を有する利得等化手段を設け、その可変の損失波長特性を入力光パワーの変化に応じて制御するようにしたこと、入力光パワーに応じて変化する光増幅手段の利得波長特性を確実に補償できるため、平坦な波長特性の出力光を得ることが可能である。これにより、広いレベル範囲の入力光に対しても利得の波長平坦性を確保でき、波長依存性の小さい雑音特性を得ることができ、本発明を適用しない場合と比べて、信号帯域における最悪の雑音特性の値を改善することができる。

【0106】また、本発明の WDM 用光増幅器を適用した光通信システムによれば、受信側に光 SN 比測定手段を設けて WDM 信号光の光 SN 比を測定し、その光 SN 比が所要の値以上に良好になるように各光増幅器の利得等化手段の損失波長特性を管理するようにしたこと、光増幅器を設置する環境で生じる損失波長特性や光増幅器自身の利得波長特性の変化に対しても、光通信システム中の最適な位置で最適な量の利得補償を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による WDM 用光増幅器の第 1 の基本構成を示すブロック図である。

【図 2】第 1 の基本構成を適用した第 1 実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 3】第 1 の実施形態に用いる可変利得等化器の損失波長特性を示す図であって、(A) は前段の可変利得等化器の特性、(B) は後段の可変利得等化器の特性を示す図である。

【図 4】第 1 の実施形態の光増幅器について雑音特性をシミュレーションした結果を示す図である。

【図 5】第 1 の実施形態に関し、前段の光増幅部を 1.48 μm 帯励起とした場合に適した可変利得等化器の損失波長特性を示す図であって、(A) は前段の可変利得等化器の特性、(B) は後段の可変利得等化器の特性を示す図である。

【図 6】第 1 の基本構成を適用した第 2 実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 7】第 2 実施形態で用いられる磁気光学効果を利用した光フィルタの構成例を示すブロック図である。

【図 8】図 7 の光フィルタの損失波長特性の変化を示す図である。

【図 9】第 1 の基本構成を適用した第 3 実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 10】第 3 実施形態について光フィルタにより抽出される ASE 光の概容を説明する図である。

【図 11】第 1 の基本構成を適用した第 4 実施形態の光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 12】本発明による WDM 用光増幅器の第 2 の基本構成を示すブロック図である。

【図13】第2の基本構成を第1実施形態の場合と同様にして適用した光増幅器の構成を示すブロック図である。

【図14】第2の基本構成について、利得等化器の損失波長特性の組み合わせの一例を示す図である。

【図15】本発明による光通信システムの構成を示すブロック図である。

【図16】本発明による光通信システムに用いられる光増幅器の可変利得等化器における損失波長特性を示す図である。

【図17】従来の2段構成の光増幅器における入力光パワーに応じた利得波長特性を示す図であって、(A)は前段光増幅部の特性、(B)は後段光増幅部の特性を示す図である。

【図18】従来の光増幅器入力光パワーに応じた雑音特性(雑音指数)を示した図である。

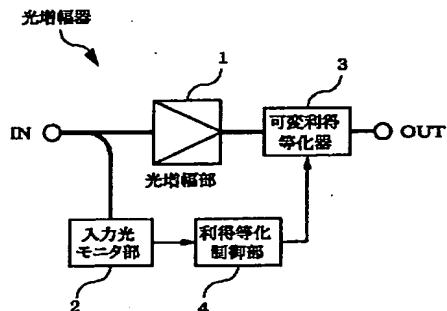
【符号の説明】

- 1…光増幅部
- 2…入力光モニタ部
- 3, 11B, 12B…可変利得等化器(VGEQ)
- 4…利得等化制御部
- 5, 21, 22…利得等化器
- 6…利得等化選択部
- 11, 12, 12'…エルビウムドープ光ファイバ増幅

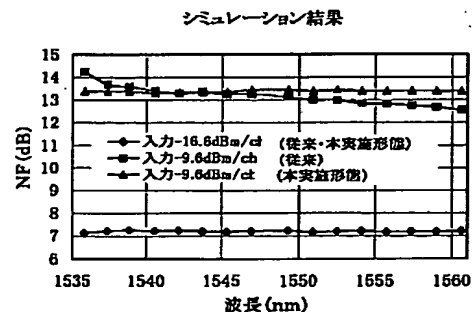
器(EDFA)

- 11A, 12A…AGC回路
- 11B₁, 12B₁…光フィルタ(固定)
- 11B₂, 12B₂…光フィルタ(可変)
- 13…利得等化制御回路(VGEQ CONT)
- 13A, 14B, 14D, 16A, 16B, 17A, 17B, 202…光カプラ
- 13B, 14C, 14E, 16E, 16F, 17E, 17F…受光器(PD)
- 13C…入力光モニタ回路
- 14…可変光減衰器(VATT)
- 14A…ALC回路
- 15…分散補償ファイバ(DCF)
- 16, 17…ASE光モニタ回路
- 16C, 16D, 17C, 17D…光フィルタ
- 23…利得等化選択回路(GEQ SEL)
- 100…送信端局
- 200…受信端局
- 300…光ファイバ伝送路
- 400…光中継局
- 205…受信モニタ部
- IN…入力ポート
- OUT…出力ポート

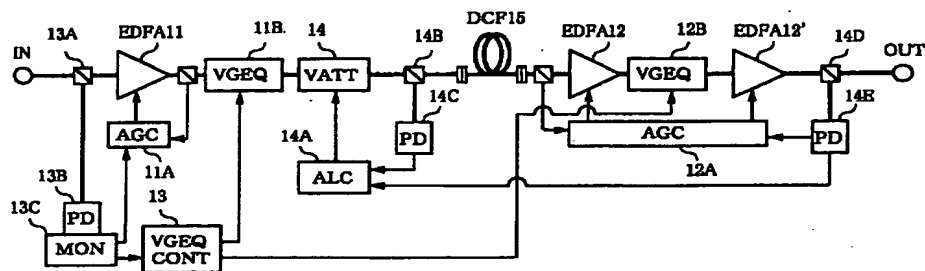
【図1】



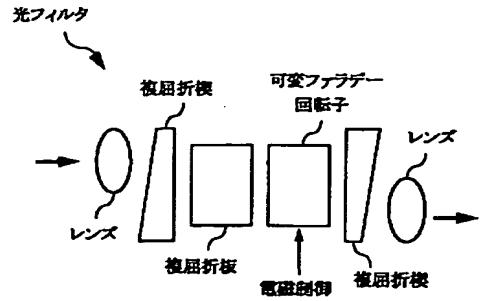
【図4】



【図2】



【图 7】



(A) 前段VGEQ
入力-16.6dBm/ch

(B) 後段VGEQ
入力-16.6dBm/ch

0.98 μ m 帯励起

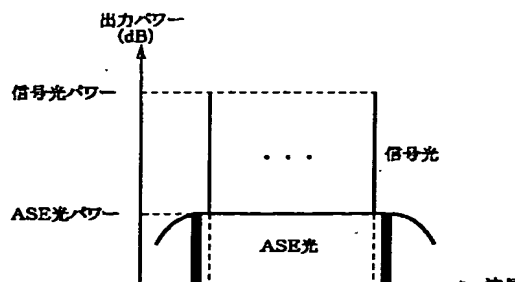
1.48 μ m 帯励起

利得(dB)

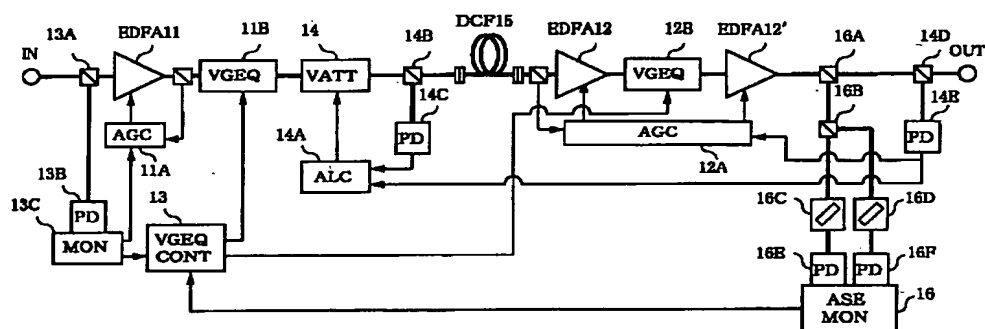
波長(nm)

The diagram illustrates a two-stage vacuum tube radio receiver circuit. The input signal (IN) enters through terminal 13A and is coupled to the grid of the first 6X4 vacuum tube (EDFA11) via a variable capacitor (13B) and a potentiometer (13C). The EDFA11 tube is also controlled by an AGC (Automatic Gain Control) signal (11A) and a VGEQ CONT (Variable Grid Bias Control) signal (11B). The output of the first stage is taken from the plate (14) through a variable capacitor (14B) and a potentiometer (14C). This signal is then coupled to the grid of the second 6X4 vacuum tube (EDFA12) via a variable capacitor (12B) and a potentiometer (12C). The EDFA12 tube is also controlled by an AGC signal (12A) and a VGEQ CONT signal (12B). The output of the second stage is taken from the plate (14D) through a variable capacitor (14B) and a potentiometer (14C). The final output (OUT) is taken from the plate (14D) through a variable capacitor (14B) and a potentiometer (14C). The circuit includes a power supply section with a transformer (VATT) and a rectifier (VGEQ11B). A DCF15 (Dual Control Frequency) signal is also present. The circuit is controlled by an ALC (Automatic Level Control) signal (14A) and a MON (Monitor) signal (13C).

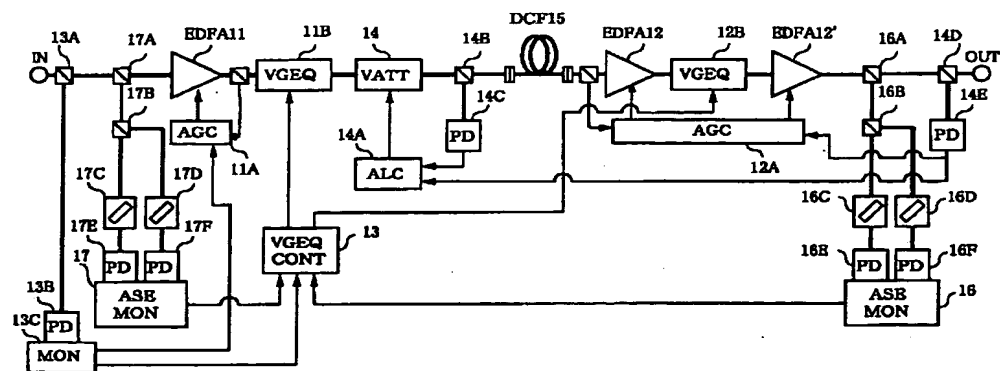
【图 10】



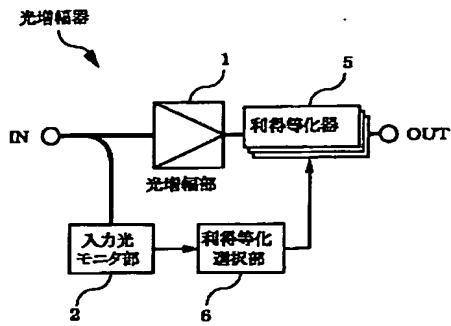
【図 9】



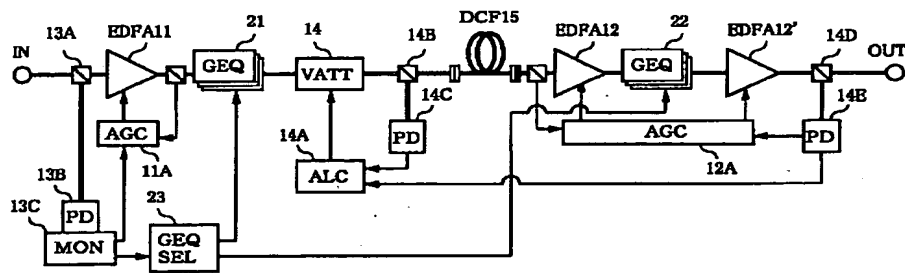
【图 1 1】



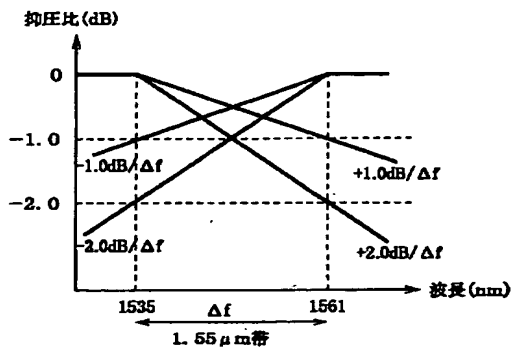
【図 12】



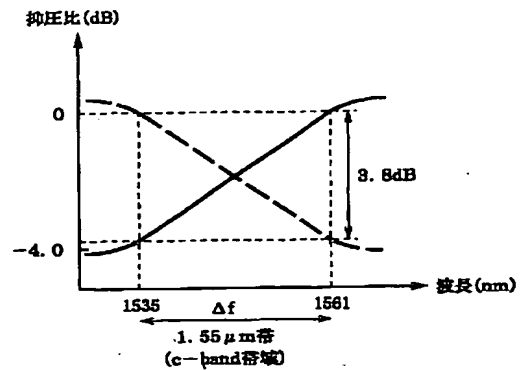
【図 13】



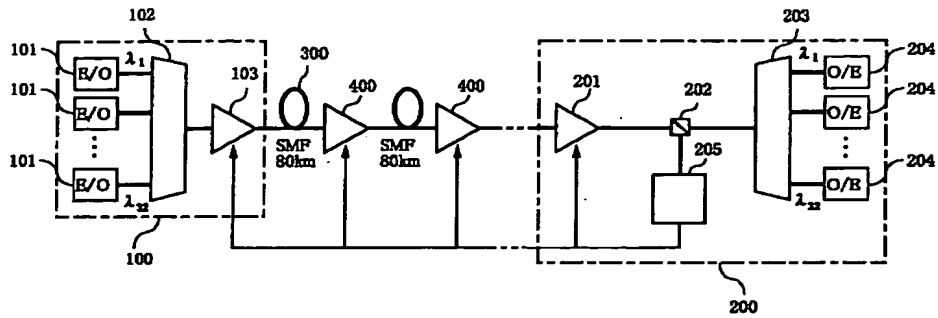
【図 14】



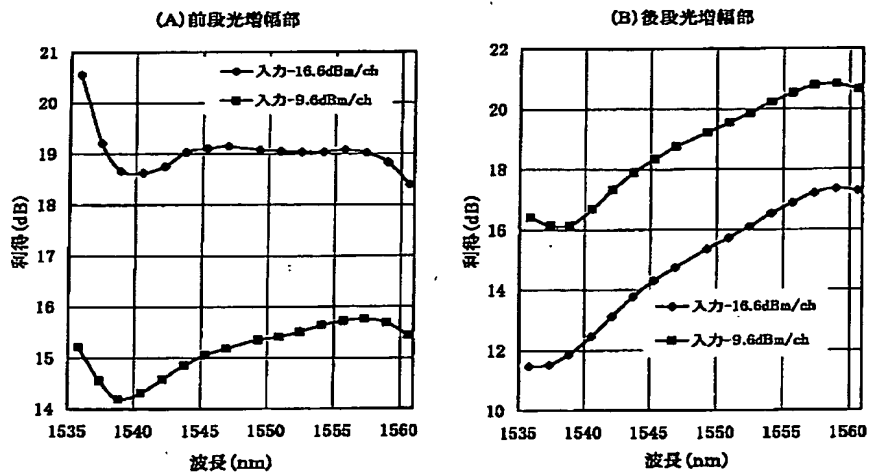
【図 16】



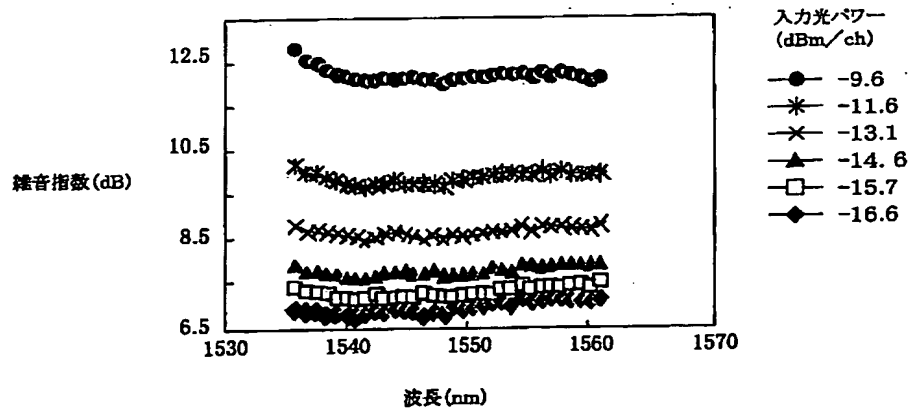
【図15】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

| (51) Int. Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | タームコード (参考) |
|----------------------------|--------------------------------|-----|-------------|
| H 0 4 B | 10/14 | | |
| | 10/06 | | |
| | 10/04 | | |
| Fターム (参考) | 5F072 AB09 AK06 HH02 HH03 JJ02 | | |
| | JJ05 MM01 RR01 YY17 | | |
| | 5K002 AA06 BA04 CA02 CA10 CA13 | | |
| | DA02 FA01 | | |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ ~~FADED~~ TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.